

# 임의 배열 안테나의 패턴합성에 관한 연구

## (A Study on the Pattern Synthesis of Random Array Antenna)

\*高 永 吉 (Koh Yung Kil)

\*\*慎 哲 宰 (Shin Chull Chai)

\*\*\*朴 漢 奎 (Park Han Kyu)

### ABSTRACT

In this paper the radiation of equally excited array antennas that have random position function is computed numerically and synthesized.

In order to decide the position of elements, we propose two new methods in which the position probability density function is to be normal Gaussian distribution. We will make a comparison between our results and that of Monte-Carlo method.

The number of elements of random array antenna is selected to be reduced by 30% compared to that of uniform array antenna namely, for the linear random array antennas we have designed and tested one with 11 elements in case of the aperture length  $7.5\lambda$ , and another one with 51 elements for the aperture length  $36.5\lambda$ .

In the case of linear random array of 11 element the peak sidelobe level (PSL) is measured to be  $-12\text{dB}$  with staircase method,  $-22\text{dB}$  with equal area method and  $-12\text{dB}$  with Monte-Carlo method.

According to our results obtained in computer simulation study, we found that the equal area method gives the minimum value for PSL. We also noticed that the PSL becomes higher as the number of elements increase. But in any situation the PSL is lower for a linear random array antenna than for a uniformly spaced array antenna.

Three method except uniformly spacing method have approximately equal beamwidth and it becomes higher as aperture length increase. From this measurements we found that beamwidth depends mainly on the aperture dimension in wavelength and the dependency on the probability function according to which the element will be placed was relatively lower.

### 요 약

본 논문은 랜덤배열안테나에서 위치함수의 확률분포함수가 정규 Gaussian 분포가 되도록 사다리 계층법과 등면적 분포법이란 새로운 방법을 제시하였고 이를 선형과 판형배열안테나로 설치하여

\*\*\* 正會員 亞洲大學校 教授

\*\*\* 正會員 延世大學校 教授

그의 방사특성을 컴퓨터에 의해 계산하고 합성한 것이다.

측정된 결과를 Monte-Carlo법에 의한 랜덤배열 안테나와 균일 간격으로 배열된 안테나에 의한 측정결과와 비교한 결과 부로브레벨(PSL)은 등면적 분포법에 의한 배열안테나에서 가장 낮았으며(-22dB) 소자수가 많을수록 낮아졌다. 또한 빙폭은 확률밀도함수와 aperture 길이에 의존함을 알 수 있다.

1. 서 론

최근 우주공간의 정복에 따른 우주통신의 발달이나 레이더 천체전파(radio astronomy) 등이 발달함에 따라 더 높은 해상도와 더 큰 이득을 가지며 부로브레벨이 낮고 완전 scanning 할수 있는 안테나의 개발이 절실히 요구되고 있고, 지난 몇년 전부터 직경이 200~300feet만큼 큰 반사형 안테나가 사용되고 있으나 이는 설치경비가 많이 들어 비경제적일 뿐만 아니라 스캐닝시간이 느리다는 단점을 갖고 있다. 위상배열 안테나는 이러한 단점이 없으며 반사형 안테나보다 더 좋은 특성을 갖고는 있으나 가시영역에서 grating lobe가 나타나지 않으려면 소자간 간격의 상한선이 존재하여야 하며 배열안테나 수는 배열 길이에 비례하므로 비빙폭을 적게 할려면 소자의 수를 많게 하여야 한다. 이것도 또한 경비면에서나 설치면적등에서 바람직하지 못하므로 더 적은 소자의 수에서도 같은 특성을 갖는 배열안테나에 대한 연구가 시작되었고 이를 랜덤 배열안테나라 한다. 랜덤배열안테나에는 소자들의 위치를 랜덤하게 정하여 배열시킨 것과 소자들을 규칙적으로 배열한 소자중에서 랜덤하게 소자들을 제거해버린 것으로 구분되며 그의 여러 특성은 이 두방법이 거의 비슷하다.

불규칙 임의배열은 1952년 Rutze<sup>1)</sup>에 의해 처음 시도되었으나 이는 규칙배열에 급전 전류를 불규칙하게 급전한 것으로 정확히 불규칙 임의 배열이라 할수 없다. 그뒤 Unz<sup>2)</sup>는 소자위치와 패턴함수와의 관계를 Fourier-Bessel전개를 이용하여 유도하였으며 Ishimaru<sup>3)</sup>는 Poisson의 합을 공식을 이용하여 패턴함수를 구하는 방법을 제시하였으나 일반적으로 매우 어렵고 각변수 u가 큰 경우에는 적용할수 없기 때문에 일반성이

결여되었고 그뒤 Rabinowitz와 Kolar 등이 확률적이고 통계적인 방법에 의해 패턴함수를 구하였으며 Lo<sup>4)</sup>, Steinberg<sup>5)</sup>등이 부로브레벨의 침투값에 대한 이론적인 해석을 하였다.

본 논문에서는 확률적인 방법에 의하여 임의 배열안테나의 부로브의 레벨과 빙폭및 지향성 이득을 구하였으며 안테나의 배열 위치를 정규 Gaussian분포로 할때 이를 만족하는 위치함수를 본 논문에서 새로 제시하는 사다리층계법과 등면적 분포법에 의해 결정하여 이를 computer simulation에 의해 방사패턴을 구하고 이를 Monte-Carlo법에 의해 주어진 위치함수에 의한 방사패턴및 균일간격으로 배열된 배열안테나의 방사 pattern과 비교하였다.

2. 랜덤 패턴 함수분포

간단히 하기 위하여 직각좌표계에서 X축에 따라 선형배열되어있는 경우를 먼저 고려하자. 좌장으로 표시된  $|x| \leq L/2$ 인 길이 내에 확률밀도함수  $g(x)$ 로 임의 배열된 N개의 소자가 균일 전류로 분포되어 있다고 하자. 이 때 임의의 위치함수  $\{X_n\}$ 은 독립적이다. 정규화된 방사패턴은

$$P(u) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \exp \{j2\pi(\sin \theta - \sin \alpha) X_n\} \\ = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \exp \{jux_n\} \dots \dots \dots (2-1)$$

여기서  $p(0) = 1$ 에 해당하는 인수가  $1/N$ 이며  $X_n = 2X_n/L$ ,  $u = L\pi(\sin \theta - \sin \alpha)$ 로써 관찰각변수,  $\alpha$ 는 배열의 수직방향에서 측정된 스캐닝각이며,  $\theta$ 는 배열의 수직방향에서 측정된 관찰각이다.

(2-1)식에서 X를 x로 변수변환하였기 때문에 아래와 같다.

$$g(x)=0, x>1, \int_{-1}^1 g(x) dx=1 \dots\dots\dots (2-2)$$

{x<sub>n</sub>}의 랜덤벡터의 분포로부터 P(u)의 확률적 성질을 유추해 낼 수 있다. 이들 중 몇가지는 쉽게 계산될 수 있으나 대부분 계산이 매우 어렵고 지루하다. 그래서 근사법이 추정(estimate)을 얻기 위해 사용되며 이 장에서는 주어진 u에 대하여 P(u)의 분포를 계산하자.

(2-1)식의 수학적인 기대치를 계산하면

$$\begin{aligned} E\{P(u)\} &= N E\left\{\frac{1}{N} \exp(jux)\right\} \\ &= E\{\exp(jux)\} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} g(x) \exp(jux) dx \\ &= \phi(u) = x \text{의 특성함수} \dots\dots\dots (2-3) \end{aligned}$$

이 식에서 평균방사패턴은 연속 전류분포로써 g(x)를 취할 때 얻어질 수 있는 패턴과 동일함을 알 수 있다. 방사패턴 ϕ(u)와 여자전류와의 관계는 Fourier 변환관계가 성립하므로 원하는 방사패턴을 얻기 위해서는 특정한 확률밀도함수 g(x)를 선택하면 얻어진다. P(u)의 실수와 허수 부분을 P<sub>1</sub>(u)와 P<sub>2</sub>(u)라 하자. 그 때 Lyapunov의 중심제한정리(central limit theorem)에 의하면 P<sub>1</sub>(u)와 P<sub>2</sub>(u)의 결합분포는 정규분포에 접근하므로 각 u에 대한 그들의 결합밀도함수는<sup>(6)</sup>

$$f(P_1, P_2) = \frac{1}{2\pi\alpha_1\alpha_2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(P_1-\phi)^2}{\alpha_1^2} + \frac{P_2^2}{\alpha_2^2}\right]\right\} \dots\dots\dots (2-4)$$

이며, 여기서 α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub>는 P<sub>1</sub>(u)와 P<sub>2</sub>(u)의 바리언스이다.

어떤 u에 대해서도 임의의 값 r보다 적을 안테나 응답에 대한 확률은

$$\Pr\{|P(u)| < r\} = \int_{|P(u)| < r} f(P_1, P_2) dp_1 dp_2 \dots\dots\dots (2-5)$$

으로 주어진다. 이 식은 2개의 자유도를 갖는 일반화된 버중심 Chi-square 분포이며 ϕ=0, α<sub>1</sub>=α<sub>2</sub>인 경우는 Rayleigh 분포로 되며, α<sub>1</sub>≠α<sub>2</sub>인

ϕ≠0인 경우는 잡음문제에서 자주 발생하는 Rice 분포로 알려져 있다.<sup>7)</sup> 가시영역내에서 부 로브 분포를 결정하는 것은 주 로브 영역을 제외한 가시영역내의 u에 대한 랜덤함수 |p(u)|의 최대값을 결정하는 것과 동가이다. 랜덤패턴함수 p(u)는 확률 1을 가지며 해석적이므로 패턴함수의 확률형태는 단지 u의 집합 전반에 대한 p(u)의 확률에 의해 결정된다. 지금 U'를 점 U<sub>n</sub>의 집합이라하고 |p(u<sub>1</sub>)|, |p(u<sub>2</sub>)|, ……는 u<sub>1</sub>, u<sub>2</sub>, ……에서의 부로브의 최대값이라면 가시영역내에 있는 u에 대한 |p(u)|의 분포는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \Pr\{|P(u)| < r, \text{ 모든 } u; \delta < |u| < 2\pi L\} \\ = \Pr\{|P(u)| < r, u \in U'\} + \epsilon \dots\dots\dots (2-6) \end{aligned}$$

여기서 r은 원하는 부 로브 레벨의 값이고, δ는 ϕ(u)의 첫번째 영점에서의 u의 값이며 ε는 오차항이다. 주어진 u에 대해 |P(u)|가 r보다 적다면 미소변수 Δu만큼 변화한 패턴함수 |P(u+Δu)|도 r보다 적으며 r보다 적은 범위에서 P(u)와 P(u+Δu)와의 상관계수는 거의 1이된다. 그래서 ε는 매우 적게 되므로 무시하고 (2-6)식의 우측항은 |P(U<sub>n</sub>)|이 정규다변량이므로 계산될 수 있다.

수치적인 계산을 좀 더 간단히 하기위해 다음과 같은 2단계의 근사법을 적용해 보자. 첫번째로 i≠j에 대해 독립적으로 P(u<sub>i</sub>)와 P(u<sub>j</sub>)를 간주한다면 하한 추정을 얻을 수 있다.

즉

$$\Pr\{|P(u)| < r, u \in U'\} \geq \prod_{n=1}^{2N} [\Pr\{|P(u_n)| < r\}]^2 \dots\dots\dots (2-7)$$

여기서 ϕ(u)는 0 < u < 2πL와 -2πL < u < 0에 있는 u에 대해 각각 (2L)개의 부 로브를 갖는다고 가정하였다. 두번째로 평균패턴 |ϕ(u)|의 최대 부 로브 레벨이 r보다 충분히 적다면, 즉 r - max |ϕ(u<sub>n</sub>)|이 표준편차 σ=1/√2N의 2~3배와 같다면 (2-7)식의 우측항은 근사적으로

$\{Pr\{|P(\infty)| < r\}\}^{2N} \dots\dots\dots (2-8)$   
 으로 되며, 여기서  $P(\infty) = \lim_{u \rightarrow \infty} P(u)$  이다.  $E\{P(\infty)\} = 0$ 이며  $u \rightarrow \infty$ 일 때  $\sigma_1^2(u)$ 와  $\sigma_2^2(u)$ 는  $1/2N$ 에 접근하므로  $|P(\infty)|^2$ 은 자유도가 2인 Chi-square 분포로 된다.<sup>17)</sup> 그래서

$Pr\{|P(\infty)| < r\} = 1 - \exp(-Nr^2) \dots\dots\dots (2-9)$   
 으로 되며 따라서 (2-7)식의  $r$ 보다 작은 부  
 브를 갖게 될 확률은

$$Pr\{|P(u)| < r, \text{ 모든 } u; \delta < |u| < 2\delta\} \\ \approx [1 - \exp(-Nr^2)]^{4L} \\ = (1 - 10^{-0.4343Nr^2})^{4L} \dots\dots\dots (2-10)$$

으로 표시된다.

### 3. 반전력빔폭

빔폭은 방사패턴에서 주 로브의 폭으로 정의하  
 며 일반적으로 빔폭은 aperture 길이와 여자전류  
 의 분포에 의하여 결정된다. 주 로브의 반전력빔  
 폭 (HPBW)은  $|P(u)|$ 가  $1/\sqrt{2}$ 로 되는  $u$ 의 값  
 을 말한다. 즉,

$$|P(u_0)| = \frac{1}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (3-1)$$

$P(u)$ 는 (2-1)식에 주어진 방사패턴이고  $u_0$ 는  
 방사패턴이  $1/\sqrt{2}$ 이 되는 랜덤변수이다. 반전력  
 빔폭의 분포는  $u_0$ 의 분포를 알게 되면 구할 수  
 있으나 (3-1)식에 의해서  $u_0$ 의 분포를 구하기  
 는 매우 어렵다. 그래서  $|P(u_1)|$ 가 주어지면  $|P(u_0)|$   
 의 조건부 확률을 사용하여 근사적인 해를  
 얻을 수 있다. 이와 같은 등가적인 방법은  $P_1(u)$   
 와  $P_2(u)$ 의 미분값의 분포를 얻어내고  $u_1$ 에 대  
 한  $P_1(u)$ 와  $P_2(u)$ 의 Taylor 급수로 전개시켜  $|\phi(u_1)| = 1/\sqrt{2}$ 로 놓아  $u_0$ 의 분포를 구해내는 것  
 이다.  $P(u)$ 는 확률 1을 가지며 미분가능하므로

$$\lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{P_1(u+\Delta u) - P_1(u)}{\Delta u} = \frac{d P_1(u)}{du} \equiv P_1'(u)$$

$$\lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{P_2(u+\Delta u) - P_2(u)}{\Delta u} = \frac{d P_2(u)}{du} \equiv P_2'(u) \dots\dots\dots (3-2)$$

으로 되고  $P_1(u)$ 와  $P_2(u)$ 는 정규분포를 갖고 그

의 미분은 선형연산자의 곱으로 표시되므로  $P_1'(u)$   
 와  $P_2'(u)$ 도 역시 정규분포를 갖는다. 이들  
 분포의 변수를 결정하기 위해 먼저  $P_1(u)$ 와  $P_1(u+\Delta u)$ 의 결합밀도함수를 표시하면<sup>18)</sup>

$$f(P_1(u), P_1(u+\Delta u)) = \frac{1}{2\pi\sigma_1(u)\sigma_1(u+\Delta u)\sqrt{1-\rho_1^2}} \\ \times \exp\left[-\frac{P_1^2(u) + P_1^2(u+\Delta u) - 2\rho_1 P_1(u) \cdot P_1(u+\Delta u)}{2\sigma_1(u)\sigma_1(u+\Delta u)(1-\rho_1^2)}\right] \dots\dots\dots (3-3)$$

여기서  $\sigma_1(u)$ 는  $P_1(u)$ 의 표준편차이고  $\rho_1$ 은 상  
 관계수로서 다음과 같다.

$$\rho_1 = \frac{E\{(P_1(u) - \phi_1(u)) \cdot (P_1(u+\Delta u) - \phi_1(u+\Delta u))\}}{\sigma_1(u)\sigma_1(u+\Delta u)} \dots\dots\dots (3-4)$$

이 때  $P_1'(u)$ 와 평균과 바리안스는 다음과 같다.

$$E\{P_1'(u)\} = \phi_1'(u) \\ \sigma^2\{P_1'(u)\} = -\sigma_1^2(u)\rho_1''(u,0) \dots\dots\dots (3-5)$$

여기서

$$\rho_1''(u,0) \approx \frac{\phi_1''(0)}{1 + \phi_1(2u) - 2\phi_1^2(u)} \dots\dots\dots (3-6)$$

이다.  $u = u_1$ 에서  $P_1(u)$ 를 Taylor 급수로 전개하  
 고,  $\phi_1(u_1) = 1/\sqrt{2}$ 이며  $|u - u_1|$ 이 적다고 할 때  
 고차항을 무시하면

$$P_1(u) \approx P_1(u_1) + (u - u_1) P_1'(u_1) \\ P_2(u) \approx P_2(u_1) + (u - u_1) P_2'(u_1) \dots\dots\dots (3-7)$$

이며, 여기서  $u_1$ 은  $P(u)$ 가 최대가 되는  $u$ 값이다.  
 (3-1)식에서

$$|P(u_0)| = \sqrt{P_1^2(u_0) + P_2^2(u_0)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ P_1^2(u_0) + P_2^2(u_0) = \frac{1}{2} \dots\dots\dots (3-8)$$

이 되며 (3-7)식을 (3-8)식에 대입하고  $u = u_0$   
 로 하면  $u_0$ 에 대한 해를 얻을 수 있고  $P(u_1)$ 과  $P_1'(u_1)$   
 의 분포로부터  $u_0$ 의 분포를 구할 수 있다.  
 $\phi_1(u_1) \approx 0$ 이며  $P_1'(u_1)$ 의 바리안스는 일반적으로  
 $P_1(u_1)$ 의 바리안스보다 적고 전 확률은 거의 1  
 과 같으므로 다음과 같은 근사식을 얻을 수 있  
 다.

$$u_0 = u_1 - \frac{P_1(u_1) - 1/\sqrt{2}}{\phi'(u_1)} \dots \dots \dots (3-9)$$

(3-9)식은 랜덤변수  $u_0$ 와  $P_1(u_1)$ 과의 관계는 거의 선형임을 말해주고 있다.

4. 지향성 이득

평균 패턴함수의 전력은

$$\|E\{P(u)\}\|^2 = \|\phi(u)\|^2 \cong 2\pi \|g\|^2 \dots (4-1)$$

이며, 여기서  $\|\cdot\|$ 은 norm을 표시하며  $\|g\|^2$ 은 아래와 같다.

$$\|g\|^2 = \int_{-1}^1 |g(x)|^2 dx \dots \dots \dots (4-2)$$

$L \gg \|g\|^2$  일 때 누가분포는<sup>(4)</sup>

$$\begin{aligned} P_r\{\|P(u) - \phi(u)\| < k \|\phi(u)\|\} \\ = \phi_s \left\{ \frac{k^2 \|g\|^2 - \text{dav} + \|g\|^2/N}{\sqrt{2\text{dav}/N \|g\|}} \right\} - \\ - \phi_s \left\{ -\frac{\text{dav} - \|g\|^2/N}{\sqrt{2\text{dav}/N \|g\|}} \right\} \\ \cong \phi_s \left[ (k^2 \|g\|^2 / \text{dav} - 1) \sqrt{\frac{L}{2}} / \|g\| \right] \dots \dots \dots (4-3) \end{aligned}$$

여기서 주어진 부 로브 레벨을  $r$ 이라 할 때

$$k^2 = \frac{r^2}{\|\phi\|^2}$$

$\text{dav} = L/N$ ; 평균간격

$\phi_s$  = 표준정규분포함수이다.  $L$ 이 상당히 크므로  $k^2$ 이  $\text{dav}/\|g\|^2$ 보다 약간 크면 (4-3) 식의 확률은 1이 되며  $k^2$ 이  $\text{dav}/\|g\|^2$ 보다 약간 적으면 확률은 거의 0이 된다. 그래서 이 식에 의해  $k^2$ 의 임계값을 결정할 수 있다.  $k$ 의 임계값은  $k = \sqrt{\text{dav}/\|g\|^2}$ 이다. 랜덤패턴함수  $P(u)$ 를 갖는 배열 안테나의 지향성 이득은

$$G = \frac{\int_{\Omega} |P(u)|^2 d\Omega}{\int_{\Omega} |P(u)|^2 d\Omega} = \frac{4\pi L}{\|P(u)\|^2} \dots \dots \dots (4-4)$$

이며 원하는 패턴함수  $\phi(u)$ 의 지향성 이득은

$$G_0 = \frac{4\pi L}{\|\phi(u)\|^2} \dots \dots \dots (4-5)$$

Minkowsky의 부등식에 의하면

$$\|P(u)\| \leq \|\phi(u)\| + \|P(u) - \phi(u)\| \leq (1+k)$$

$$\|\phi(u)\| \dots \dots \dots (4-6)$$

이며  $P(u)$ 의 지향성 이득을  $\phi(u)$ 의 이득에 의해 표시하면

$$\begin{aligned} 10 \log \frac{G}{G_0} = 20 \log \frac{\|P(u)\|}{\|\phi(u)\|} &\geq -20 \log(1+k) \text{ dB} \\ &= -20 \log \left( 1 + \frac{\sqrt{\text{dav}}}{\|g\|} \right) \dots \dots \dots (4-7) \end{aligned}$$

(4-7)식에서  $P(u)$ 의 지향성 이득  $G$ 는 패턴  $\phi(u)$ 의 이득  $G_0$ 보다 적으며 그 양은  $20 \log(1 + \sqrt{\text{dav}}/\|g\|)$  dB에 의해 결정됨을 알 수 있다. 같은 좌물분포는  $N_1$ 과  $N_2$ 개의 소자를 평균간격  $\text{dav}_1$ ,  $\text{dav}_2$ 로 배열했을 때의 지향성 이득을  $G_1$ ,  $G_2$ 라 할 때 이득의 차는

$$(G_1 - G_2) \text{ dB} = 10 \log \frac{G_1}{G_2} \cong 10 \log \frac{\text{dav}_2}{\text{dav}_1} = 10 \log \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots (4-8)$$

으로 표시된다.

5. 정규 Gaussian 분포에 의한 위치 배열 방법.

(2-1)식에 의하여 방사패턴을 구할 수 있으며 위치함수  $\{x_n\}$ 에 의하여 그의 값은 변한다. 확률밀도 함수를 정규 Gaussian 분포로 하였을 때 Gaussian 분포에 비슷하도록 소자들을 배치시키기 위하여 사다리 총계법과 등면적 분포법이라는 두 방법으로 위치함수를 랜덤하게 결정하여 주고 각각에 대한 방사패턴을 computer simulation 하였으며 이것과 균일하게 배열하였을 때의 패턴과 Monte-Carlo법<sup>(8)</sup>에 의해 얻어진 위치함수에 의한 패턴과를 비교하였다.

5-1. 사다리 총계법

$\{x_n\}$ 의 분포를 Gaussian 정규분포로 하였을 때  $\{x_n\}$ 의 분포를 구하는 한 방법으로 그림 (5-1)에 도시한 바와 같이 Y축에 따라 같은 간격으로 나누어 Gaussian 정규분포곡선과 만나는 점의 X축 값을  $\{x_n\}$ 으로 하였다. 이 때  $\{x_n\}$ 의 표본 분포는 거의 Gaussian 정규분포와 비슷하다.

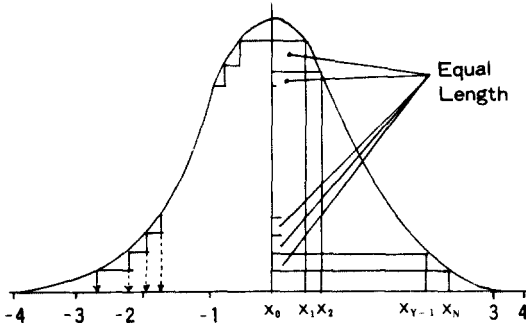


그림 5-1. 사다리층계법에 의한 위치함수 분포  
Fig 5-1. Distribution of position function by staircase method

5-2. 등면적 분포법

$\{x_n\}$ 의 분포를 Gaussian 분포로 하고 그림(5-2)에 도시한 바와 같이 정규 Gaussian 분포곡선의 X 축과 만나는 두 점간의 전면적 A를 구하여 소자수로 나눈  $A_n = A/N$ 의 면적을 구하여 X 축과 만나는 점을  $\{x_n\}$ 의 분포로 하였다.

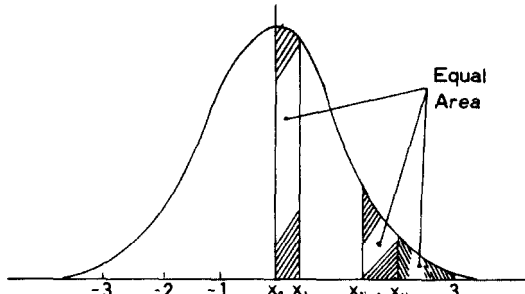


그림 5-2. 등면적분포법에 의한 위치함수 분포  
Fig 5-2. Distribution of position function by equal area method

6. 결과 및 고찰

안테나에 급전하는 전류를 균일하게 하였으며 그 크기를 1로 하고 화물밀도함수를 정규(Gaussian) 분포로 하여 소자를 배열하였다.

먼저 소자 15개를 aperture 길이  $7.5\lambda$ 에 균일한 간격( $\lambda/2$ )으로 배열시킨 선형 균일배열 안테나의 방사패턴을 그림(6-1)에 도시하였으며 균일배열보다 70% 적은 소자를 갖는(11개) 임의 선형배열 안테나를 Monte-carlo법, 사다리 층계법 및 등면적 분포법에 의해 배열한 안테나의 방사패턴을 각각 그림(6-2), 그림(6-3), 그림(6-4)에 수록하였다.

또한 소자 73개를 aperture 길이  $36.5\lambda$ 에 균일하게 배열시킨 선형균일 안테나의 방사패턴을 그림(6-5)에 도시하였으며 그림(6-6), 그림(6-7), 그림(6-8)은 같은 길이에 소자 51개를 각각 Monte-Carlo법 사다리 층계법 및 등면적분포에 의해 배열시킨 안테나의 방사패턴이다.

선형배열 안테나의 방사패턴에 대한 측정결과를 표(6-1)에 정리하였다.

표(6-1)에서 선형균일 배열 안테나에서는 최대 부 로브레벨(PSL)이 10(dB)로 비교적 높으나 부 로브가 없었으며 Monte-Carlo법에 의한 PSL은 -12(dB)로 측정되었고 사다리층계법에 서도 거의 같은 레벨로 측정되었다.

배열 방법	소자수 15개 Aperture 길이 $7.5\lambda$		소자수 73개 Aperture 길이 $36.5\lambda$	
	PSL (dB)	Beamwidth (degree)	PSL (dB)	Beamwidth (degree)
균일 간격법	-10	4	-12	4
	소자수 11개 Aperture 길이 $7.5\lambda$		소자수 51개 Aperture 길이 $36.5\lambda$	
	PSL (dB)	Beamwidth (degree)	PSL (dB)	Beamwidth (degree)
Monte-Carlo 법	-12	6	-18	3
사다리 층계법	-12	6	-10	3
등면적 분포법	-22	6	-36	3

그러나 등면적 분포법에 의한 PSL은  $-22$ (dB)로 측정되어  $\{x_n\}$ 의 분포는 등면적 분포법으로 하였을때 가장 정규Gaussian분포에 가깝다는 것을 알 수 있었다.

또한 소자수가 51개로 증가되면 PSL은 적어

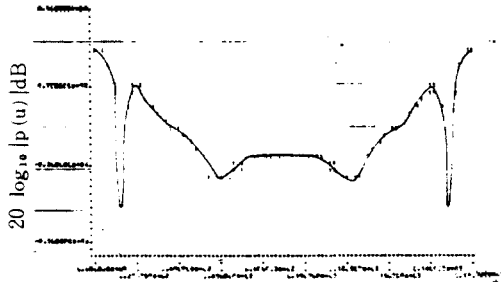


그림 6-7. 사다리 총계법에 의한 선형 랜덤 배열 안테나의 방사패턴 ( $N=51, L=36.5\lambda$ )

Fig 6-7. Radiation pattern of random linear antenna by staircase method. ( $N=51, L=36.5\lambda$ )

지게 됨을 알 수 있었다.

그리고 빔폭은 균일배열에서는  $4^\circ$ 이었으며 aperture 길이  $7.5\lambda$ 에서는 거의  $6^\circ$ 이었으나  $36.5\lambda$ 에서는 약  $30^\circ$ 가 되어 빔폭은 aperture 길이와 확률밀도 함수에 의해 결정됨을 알 수 있었다.

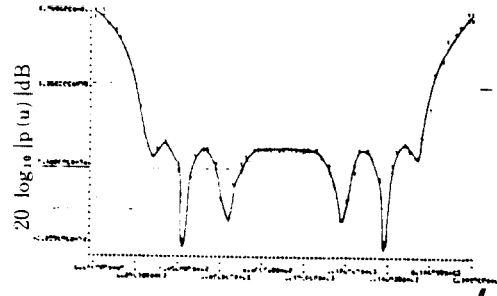


그림 6-8. 등면적 분포법에 의한 선형 랜덤 배열 안테나의 방사패턴 ( $N=51, L=36.5\lambda$ )

Fig 6-8. Radiation pattern of random linear array antenna by equal area distribution method ( $N=51, L=36.5\lambda$ )

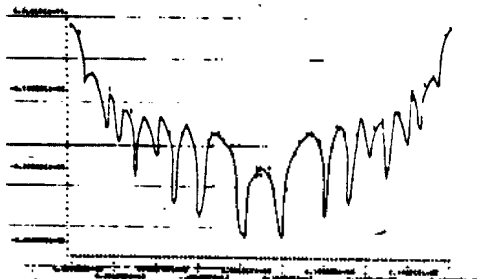


그림 6-5. 선형 균일 배열 안테나의 방사패턴 ( $N=73, L=36.5\lambda$ )

Fig 6-5. Radiation pattern of uniform linear array antenna ( $N=73, L=36.5\lambda$ )

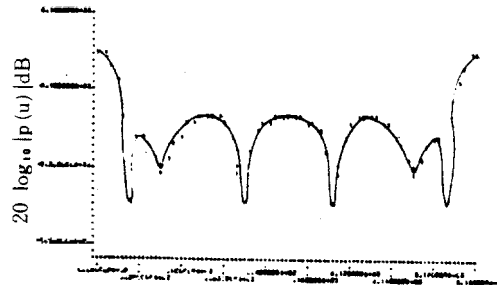


그림 6-6. Monte-Carlo법에 의한 선형 랜덤 배열 안테나의 방사패턴 ( $N=51, L=36.5\lambda$ )

Fig 6-6. Radiation pattern of random linear array antenna by Monte-Carlo method. ( $N=51, L=36.5\lambda$ )

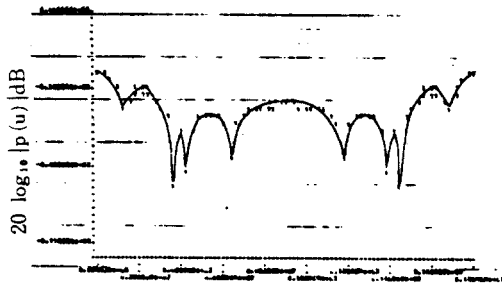


그림 6-3. 사다리 총계법에 의한 선형 랜덤 배열 안테나의 방사패턴 ( $N=11, L=7.5\lambda$ )

Fig 6-3. Radiation pattern of random linear array antenna by staircase method. ( $N=11, L=7.5\lambda$ )

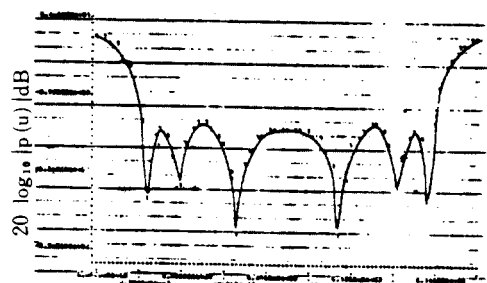


그림 6-4. 등면적 분포법에 의한 선형 랜덤 배열 안테나의 방사패턴 ( $N=11, L=7.5\lambda$ )

Fig 6-4. Radiation pattern of random linear array antenna by equal area distribution method ( $N=11, L=7.5\lambda$ )

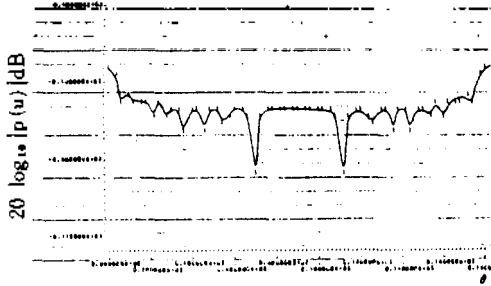


그림 6-1. 선형 균일 배열 안테나의 방사패턴  
( $N=15$ ,  $L=7.5\lambda$ )

Fig 6-2. Radiation pattern of uniform linear array antenna ( $N=15$ ,  $L=7.5\lambda$ )

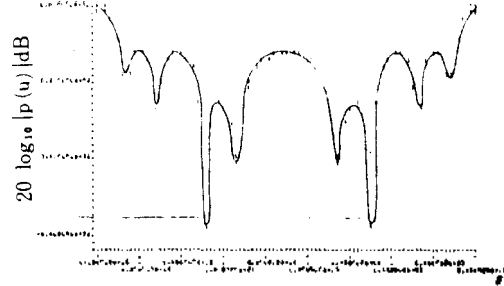


그림 6-2. Monte-Carlo법에 의한 선형 랜덤 배열 안테나의 방사패턴 ( $N=11$ ,  $L=7.5\lambda$ )

Fig 6-2. Radiation pattern of random linear array antenna by Monte-Carlo method ( $N=11$ ,  $L=7.5\lambda$ )

## 7. 결 론

본 논문에서는 소자를 랜덤하게 배열하였을 때의 패턴함수 분포와 빔폭 및 지향성 이득을 확률적 방법에 의해 유도하였으며, 확률밀도함수를 Gaussian 정규분포로 하였을 때 최대 부 로브 레벨을 감소시키면서 빔폭을 좁게하여 지향성을 높이기 위한 최적의 소자간격을 얻기 위한 방법으로 사다리 총계법과 등면적 분포법을 제시하였으며 등면적 분포법에 의한 위치에 소자들을 놓았을 때의 방사패턴은 이제까지 많은 학자들에 의해 시행되어 왔던 Monte-Carlo법 및 균일간격배열에 의한 방사패턴보다 10(dB) 이상 낮았으며 위치함수가 정규 Gaussian 분포에 접근함을 알 수 있었다. 또한 빔폭은 확률밀도가 같은 배열에서는 모두 같았으나 균일배열에서는 같지 않았으며 aperture 길이에 따라 변하였다.

우주통신이나 레이더등과 같이 이득이 높고 부 로브 레벨이 낮으며 빔폭이 적어 높은 지향성이 요구되는 통신에 사용할 안테나로써 임의배열 안테나가 적합하여 이와같은 배열안테나에서 원하는 방사패턴을 얻을 수 있는 위치함수 선정에 필요한 방법이 제시되어 있으므로 안테나의 설계자들에게 많은 도움이 되리라 믿는다.

## 참 고 문 헌

1. Ruze, J., "The Effect of Aperture Errors on the Antenna Radiation Pattern," *Nouvo Cimento, Suppl.* 3, 9, pp. 364-380, Sept. 1952
2. Unz, H., "Linear Arrays with Arbitrarily Distributed Elements," *IRE Trans. on Antennas and Propagat.*, Vol. AP-8, pp. 222-223, March 1960
3. Ishimaru, A., "Theory of Unequally Spaced Arrays," *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, Vol. AP-10, pp. 691-702, Nov. 1962
4. Lo, Y. T., "A Mathematical Theory of Antenna Arrays with Randomly Spaced Elements," *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, Vol. AP-12, Nov. 2, pp. 257-268, May 1964
5. Steinberg, B. D., "Comparison Between the Peak Sidelobe of the Random Array and Algorithmically Designed Aperiodic Array," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. AP-21, pp. 366-369, May 1973
6. Gnedenk, B. V. and Kolmogorov, A. N., "Limit Distribution for Sums of Independent